

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“DESARROLLO TEÓRICO DE UNA METODOLOGÍA  
PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN SONORA  
QUE RECIBE UN TELEOPERADOR DURANTE SU  
JORNADA DE TRABAJO”**

Realizado por:

**MARÍA CELESTE HERRERA**

# OBJETIVOS

## General:

Desarrollar una propuesta metodológica para la determinación de la presión sonora que recibe un teleoperador durante sus labores con un ajuste matemático, a través de la bifurcación de la señal y la aplicación del método de dosimetría.

## Específicos:

- Determinar las herramientas necesarias para el estudio del nivel de la exposición al ruido en teleoperadores a través de la formulación de un proceso de investigación para la estructuración de un modelo operativo que permita medir la presión sonora recibida por un teleoperador en su jornada de trabajo.



- Definir los materiales y sus características, mediante el estudio de las diferentes opciones que se encuentran en nuestro medio, mercado y que se requieren para para la construcción del sistema aislante de ruido para realizar la toma de medidas de la presión sonora.
- Determinar la metodología a seguir para la construcción del modelo matemático, mediante el análisis de las limitaciones y bondades de los diferentes procesos de ajuste y su comportamiento frente a las diferentes frecuencias del sonido y los niveles de energía, para la determinación de la presión sonora que recibe un teleoperador en una jornada laboral.



# METODOLOGÍA

- Con los datos que se obtienen en las prácticas se realizó el análisis con el método de mínimos cuadrados.
- Se buscaron modelos logarítmicos que son los que gobiernan este fenómeno, pero en el análisis estos fueron linealizados y se buscaron ecuaciones lineales sin iteraciones y comprobamos su ajuste mediante el coeficiente de correlación  $R^2$
- Se realizaron las pruebas para el estudio de la determinación del ruido que recibe un teleoperador, utilizando varias herramientas.
- Las mediciones se realizaron bajo ciertas condiciones de operación.



# RESULTADOS

Herramientas utilizadas para determinar el nivel de la exposición al ruido en teleoperadores:



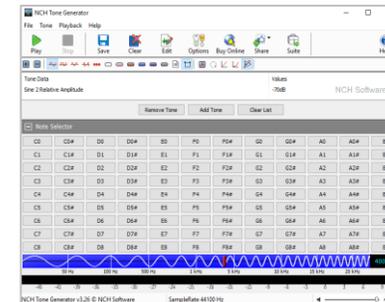
Dosímetro Cirrus doseBadge



Auriculares bilaterales SONY MDR-ZX110



Bifurcador de audio Star Tech



Software NCH Tone Generator

## Medio portátil de insonorización



- ✓ Poliestireno expandido (EPS)
- ✓ Material de bajo costo
- ✓ Aumenta el grado de absorción del sonido en el interior
- ✓ Reduce la reverberación

## Modelo matemático de mínimos cuadrados

- Con los datos obtenidos se procedió a realizar el análisis y gráficamente se observó un comportamiento aproximadamente paralelo y lineal
- Esto nos orientó a desarrollar modelos matemáticos de forma lineal, basándonos en la expresión general de la recta:

$$y = m x + b$$

- Su forma de cálculo viene expresada de la siguiente manera:

$$m = \frac{n \cdot \Sigma(x \cdot y) - \Sigma x \cdot \Sigma y}{n \cdot \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2}$$

$$b = \frac{\Sigma y \cdot \Sigma x^2 - \Sigma x \cdot \Sigma(x \cdot y)}{n \cdot \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2}$$

- Se aplica el método de mínimos cuadrados, basándonos en su expresión general:

$$= \left( \frac{n \cdot \Sigma(x \cdot y) - \Sigma x \cdot \Sigma y}{n \cdot \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2} \right) x + \left( \frac{\Sigma y \cdot \Sigma x^2 - \Sigma x \cdot \Sigma(x \cdot y)}{n \cdot \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2} \right)$$

- Y calculamos el  $R^2$  (coeficiente de correlación), que en caso particular de la ecuación lineal es el  $r^2_{xy}$  (coeficiente de correlación de Pearson)

$$r^2_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Donde:

$S_{xy}$  Covarianza entre las variables  $x$  e  $y$

$S_x$  Varianza de variable  $x$

$S_y$  Varianza de la variable  $y$

# APLICACIÓN PRACTICA

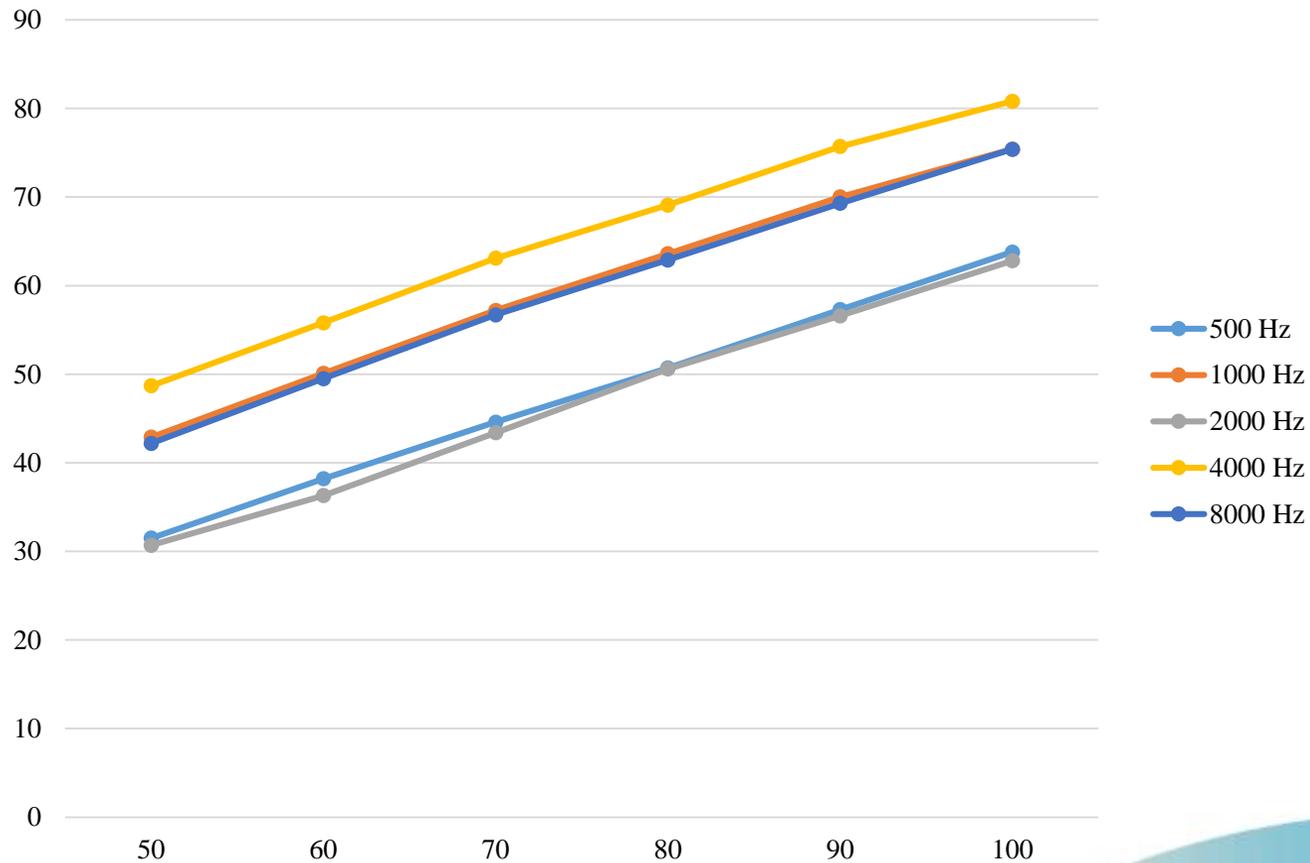
Las mediciones se realizaron bajo las siguientes condiciones:

- ✓ Mediciones con un muestreo de 15 minutos.
- ✓ Se midió en frecuencias 500Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000Hz y a 50dB, 60dB, 70dB, 80dB, 90dB, 100dB.
- ✓ Se realizó medidas dentro del medio portátil de insonorización y fuera del mismo.
- ✓ El ambiente de las mediciones fue en una habitación insonorizada.
- ✓ Las cajas poliestireno expandido fueron colocadas al momento de realizar la medición en una mesa con superficie sólida, estas estuvieron completamente selladas.
- ✓ En el caso de la medición sin medio portátil de insonorización los auriculares fueron colocadas en una mesa con superficie sólida.
- ✓ Los dos pares de auriculares se mantuvieron conectados al bifurcafor de audio durante las mediciones tanto dentro como fuera de la caja.
- ✓ Los dosímetros se encontraban calibrados con un offset de -0.34 dB.

# Medición con medio portátil de insonorización

El análisis de comportamiento de las mediciones por frecuencias se refleja en los siguiente gráfico:

Todas las frecuencias Hz

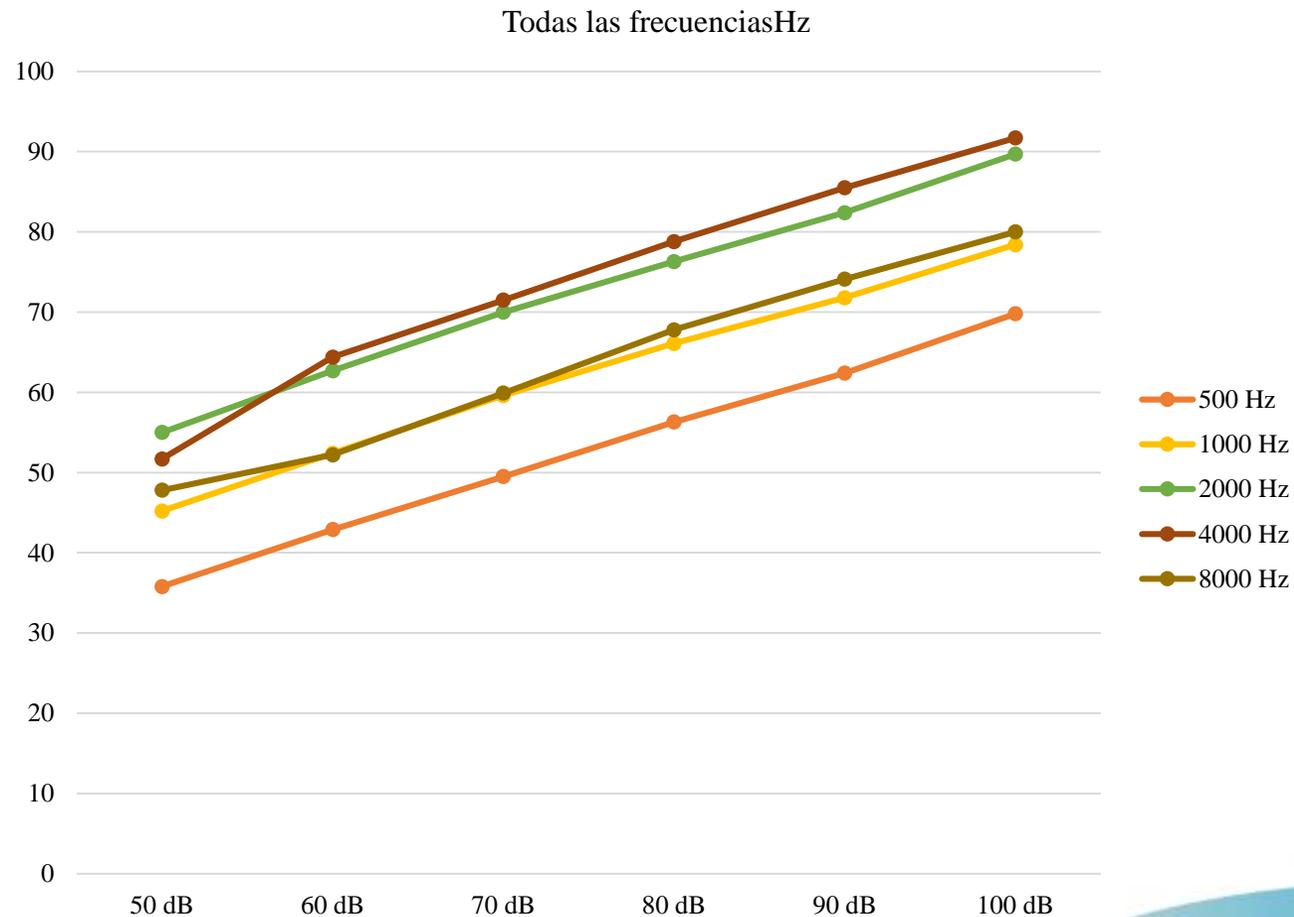


		Frecuencia (Hz)				
		500	1000	2000	4000	8000
Presión sonora (dB)	50	31,5	42,9	30,7	48,7	42,2
	60	38,2	50,1	36,3	55,8	49,5
	70	44,6	57,2	43,4	63,1	56,7
	80	50,7	63,6	50,6	69,1	62,9
	90	57,3	70	56,6	75,7	69,3
	100	63,8	75,4	62,8	80,8	75,4



# Medición sin medio portátil de insonorización

El análisis de comportamiento de las mediciones por frecuencias se refleja en los siguiente gráfico:



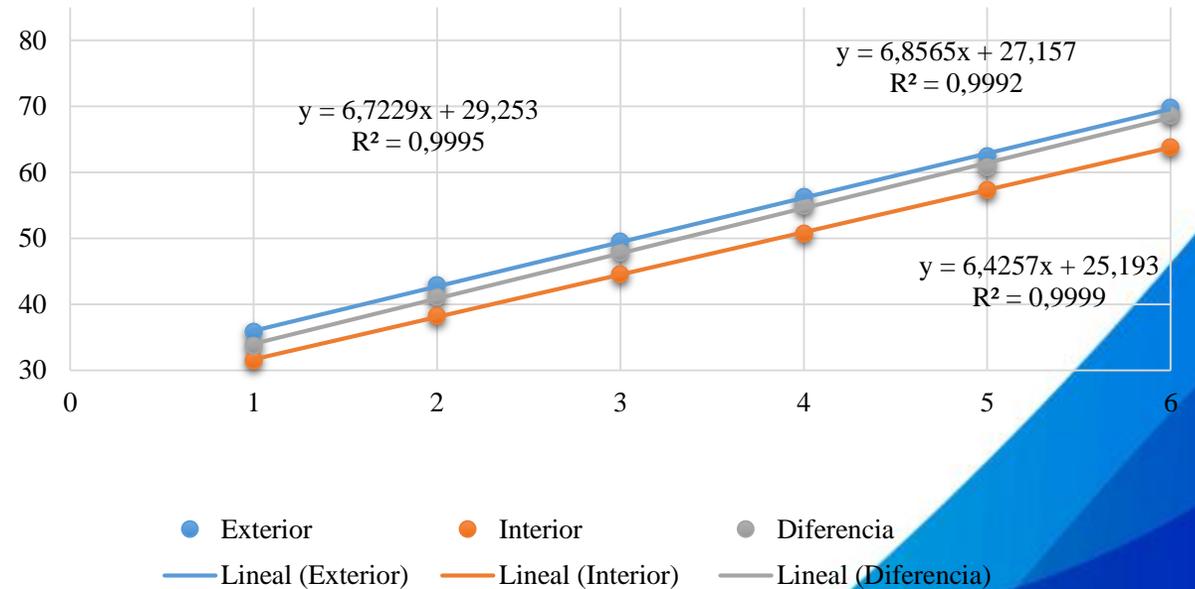
	Frecuencia (Hz)					
	500	1000	2000	4000	8000	
Presión sonora (dB)	50	35,8	45,2	55	51,7	47,8
	60	42,9	52,4	62,7	64,4	52,2
	70	49,5	59,6	70	71,5	59,9
	80	56,3	66,1	76,3	78,8	67,8
	90	62,4	71,8	82,4	85,5	74,1
	100	69,8	78,4	89,7	91,7	80



# Análisis diferencial de mediciones con y sin medio portátil insonorizado por frecuencias Hz

- Análisis de la banda 500Hz

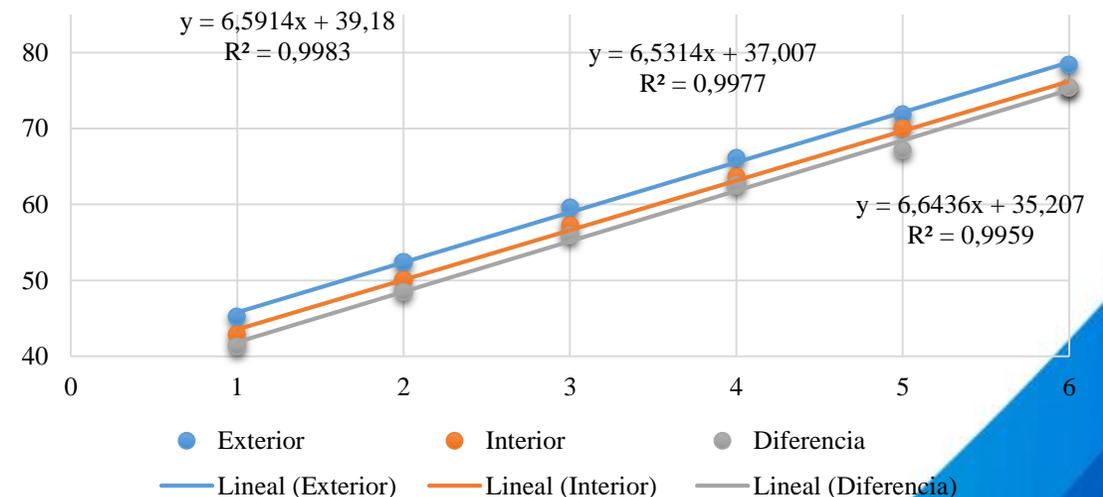
Frecuencia (Hz)	Exterior		Interior		Diferencia	
	500 Hz	R <sup>2</sup>	500 Hz	R <sup>2</sup>	500 Hz	R <sup>2</sup>
Presión sonora (dB)	50 dB	0,9995	31,5	0,9999	33,78	0,9992
	60 dB		38,2		41,10	
	70 dB		44,6		47,80	
	80 dB		50,7		54,90	
	90 dB		57,3		60,79	
	100 dB		63,8		68,54	
	35,8		31,5		33,78	
	42,9		38,2		41,10	
	49,5		44,6		47,80	
	56,3		50,7		54,90	
	62,4		57,3		60,79	
	69,8		63,8		68,54	



# Análisis diferencial de mediciones con y sin medio portátil insonorizado por frecuencias Hz

- Análisis de la banda 1000Hz

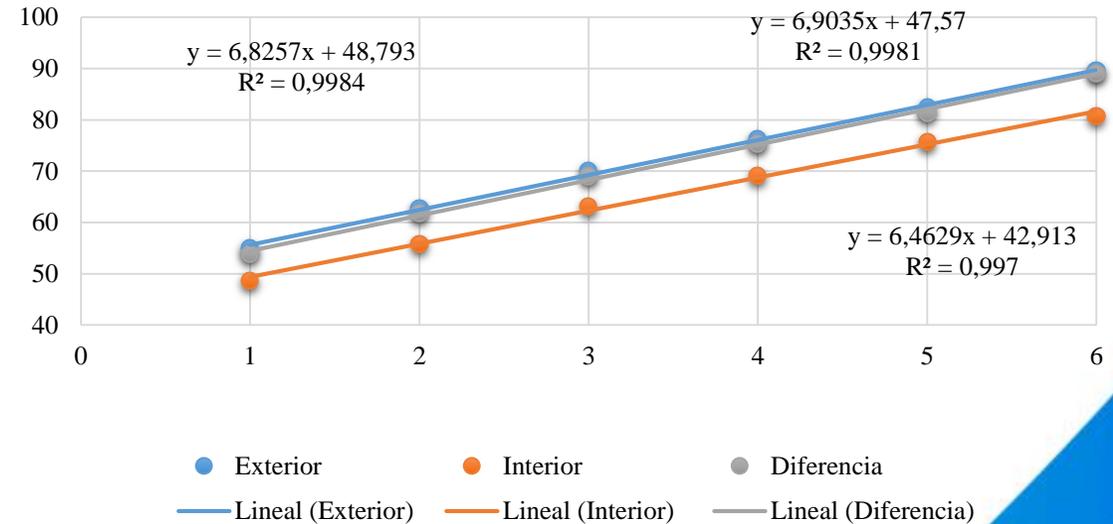
Frecuencia (Hz)		Exterior		Interior		Diferencia	
		1000 dB	R <sup>2</sup>	1000 dB	R <sup>2</sup>	1000 dB	R <sup>2</sup>
Presión sonora (dB)	50 dB	45,2	0,9983	42,9	0,9977	41,34	0,9959
	60 dB	52,4		50,1		48,54	
	70 dB	59,6		57,2		55,88	
	80 dB	66,1		63,6		62,51	
	90 dB	71,8		70		67,11	
	100 dB	78,4		75,4		75,38	



# Análisis diferencial de mediciones con y sin medio portátil insonorizado por frecuencias Hz

- Análisis de la banda 2000Hz

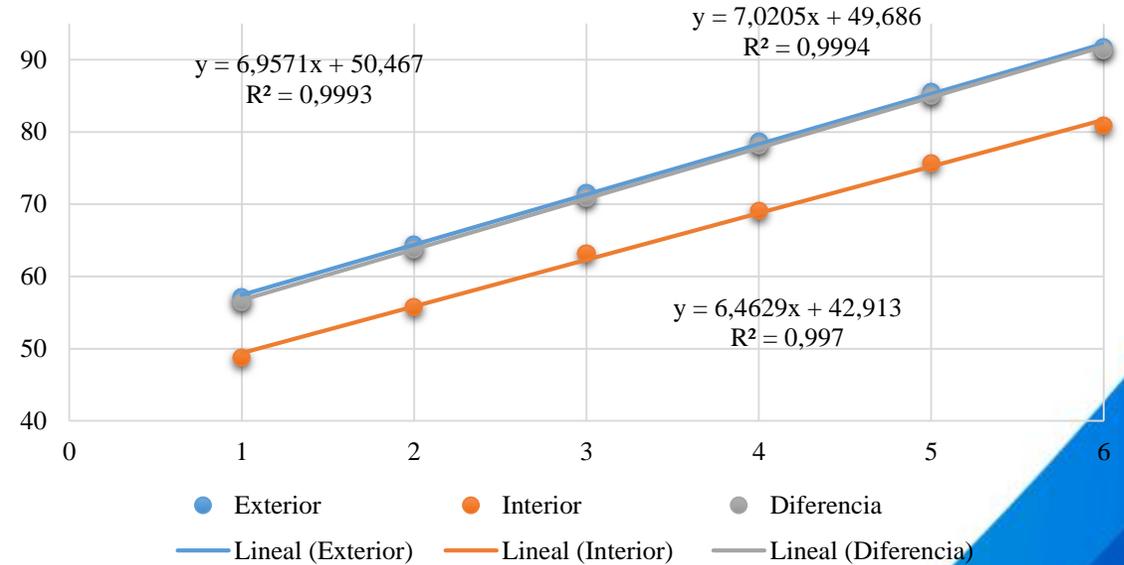
Frecuencia (Hz)		Exterior		Interior		Diferencia	
		2000 dB	R <sup>2</sup>	2000 dB	R <sup>2</sup>	2000 dB	R <sup>2</sup>
Presión sonora (dB)	50 dB	55	0,9984	48,7	0,997	53,84	0,9981
	60 dB	62,7		55,8		61,71	
	70 dB	70		63,1		69,01	
	80 dB	76,3		69,1		75,38	
	90 dB	82,4		75,7		81,36	
	100 dB	89,7		80,8		89,10	



# Análisis diferencial de mediciones con y sin medio portátil insonorizado por frecuencias Hz

- Análisis de la banda 4000Hz

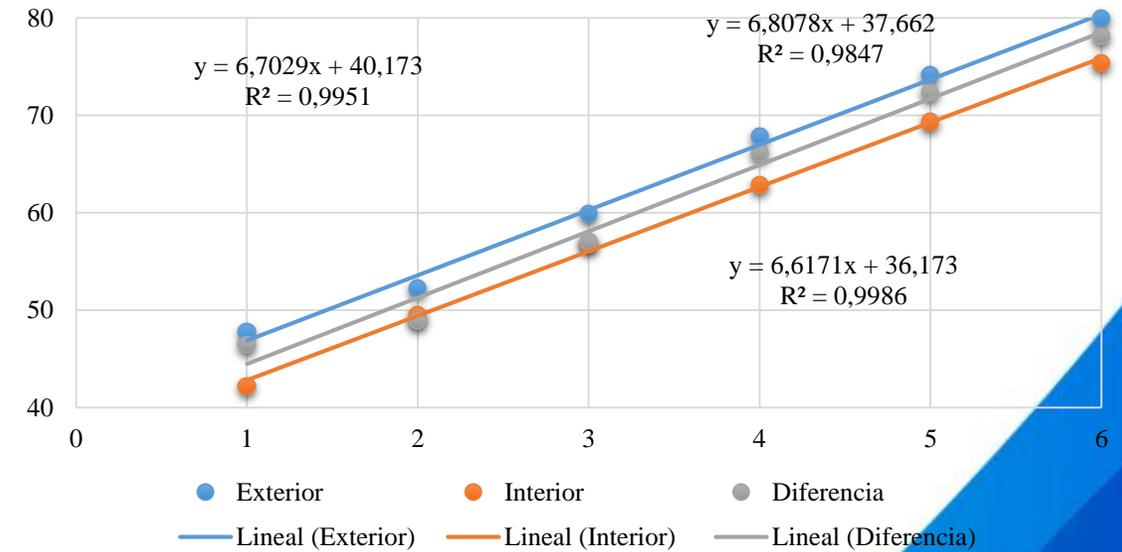
Frecuencia (Hz)		Exterior		Interior		Diferencia	
		4000 dB	R <sup>2</sup>	4000 dB	R <sup>2</sup>	4000 dB	R <sup>2</sup>
Presión sonora (dB)	50 dB	57,1	0,9993	48,7	0,997	56,42	0,9994
	60 dB	64,4		55,8		63,75	
	70 dB	71,5		63,1		70,82	
	80 dB	78,7		69,1		78,20	
	90 dB	85,5		75,7		85,02	
	100 dB	91,7		80,8		91,33	



# Análisis diferencial de mediciones con y sin medio portátil insonorizado por frecuencias Hz

- Análisis de la banda 8000Hz

Frecuencia (Hz)		Exterior		Interior		Diferencia	
		8000 dB	R <sup>2</sup>	8000 dB	R <sup>2</sup>	8000 dB	R <sup>2</sup>
Presión sonora (dB)	50 dB	47,8	0,9951	42,2	0,9986	46,40	0,9847
	60 dB	52,2		49,5		48,86	
	70 dB	59,9		56,7		57,07	
	80 dB	67,8		62,9		66,10	
	90 dB	74,1		69,3		72,35	
	100 dB	80		75,4		78,15	



## CONCLUSIONES

- Se logró definir las herramientas adecuados tales como el software, auriculares, dosímetro, bifurcador y el medio portátil insonorizado para la investigación y desarrollo del modelo operativo que permite medir la presión sonora recibida por un teleoperador en su jornada de trabajo.
- Se identificó el material con características adecuadas para el medio portátil insonorizado, el poliestireno expandido (EPS) demuestra que tiene un comportamiento estable en las longitudes de onda medidas.
- Se logró determinar que si existe la posibilidad de un comportamiento fácilmente ajustable al modelo matemático lineal como se comprueba en los gráficos y se comprobado con el coeficiente de correlación por ende el método es totalmente viable para determinar la presión sonora recibida por un teleoperador en su jornada laboral utilizando medios paralelos de medición de bajo costo.

## RECOMENDACIONES

- Seguir investigando sobre los materiales y sus propiedades que faciliten la construcción del medio portátil de insonorización para la determinación de la presión sonora que recibe un trabajador durante su jornada laboral.
- Es recomendable realizar una investigación con la misma metodología, pero en un lugar o habitación que el ambiente no se encuentre controlado como en esta investigación.
- De ser factible se recomendaría realizar un estudio donde se compare el método planteado en esta investigación con el método que propone la norma ISO 11904-1 en el cual se trabaje en el canal auditivo bajo tercios de octava.
- Realizar un estudio comparativo de las ventajas económicas del método desarrollado en esta investigación frente al método común que propone la norma ISO 11904-1 de colocación del equipo en el canal auditivo.

# GRACIAS